

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-064473

(43)Date of publication of application : 05.03.1999

(51)Int.Cl.

G01R 33/02
G01C 17/28

(21)Application number : 09-242075

(71)Applicant : SUMITOMO METAL MINING CO LTD

(22)Date of filing : 22.08.1997

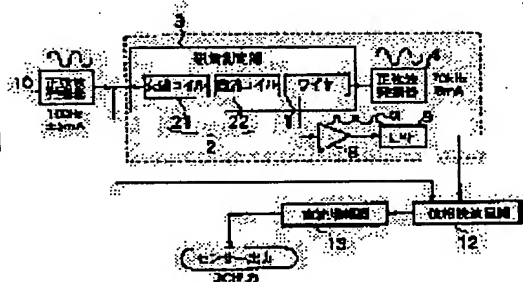
(72)Inventor : SATO TAKASHI
YAMANOBE YASUNARI

(54) MAGNETIC SENSOR AND MAGNETIC ORIENTATION SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic sensor and a magnetic orientation sensor in which the operational stability and the temperature stability are improved while reducing the circuitry and the number of adjusting parts thereof.

SOLUTION: The magnetic sensor comprises a magnetic measuring section 3 including an amorphous magnetic wire 1 to be supplied with a high frequency current and a coil 2 producing a bias field, and means for detecting a current level for generating a field of the same magnitude as a measuring field in the opposite direction by varying the level of current being supplied to the coil. The detecting means comprises an AC coil 21 conducting a sine wave and a DC coil 22 conducting a DC current, a phase detection circuit 12 for comparing the sine wave having an impedance being monitored from the voltage across the wire 1 with the sine wave from the AC coil, and a DC amplifier 13 for amplifying the current being supplied to the DC coil such that the phase detection output becomes 0. The magnetic orientation sensor comprises a magnetic orientation measuring section where two or three sets of magnetic sensors are arranged orthogonally.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The magnetic-measurement section by which that principal part is constituted from a coil which gives a bias field to the single amorphous magnetic-substance wire which the high frequency current energizes, and this amorphous magnetic-substance wire, It has a detection means to detect the direct-current value which changes the value of the direct current passed in the above-mentioned coil, and generates the field of the reverse sense in the same magnitude as an external measurement field. In the magnetometric sensor which measured the magnetic field strength and the sense of a longitudinal direction of the magnetic-measurement section from the direct-current value detected by this detection means The direct-current coil which a direct current energizes in the alternating current coil list which sinusoidal current energizes [the above-mentioned detection means], The phase detector which detects by carrying out the phase comparison of the sine wave of the sinusoidal current energized in the sinusoidal signal and the above-mentioned alternating current coil of the RF impedance which acts as a monitor from the both-ends electrical potential difference of the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire, The magnetometric sensor characterized by constituting that principal part from DC amplifier which amplifies the direct current energized in the above-mentioned direct-current coil so that the field of the reverse sense may be generated in the same magnitude as an external measurement field based on the phase detection output from this phase detector.

[Claim 2] The magnetometric sensor according to claim 1 characterized by the above-mentioned alternating current coil and the direct-current coil being constituted by the member of another object.

[Claim 3] The magnetometric sensor according to claim 1 characterized by the above-mentioned alternating current coil and the direct-current coil being constituted by the single member.

[Claim 4] The magnetic direction sensor characterized by having had 2 sets or the magnetic direction test section constituted by arranging so that 3 sets might be mutually intersected perpendicularly of a magnetometric sensor according to claim 1, 2, or 3, having measured the magnetic field strength and the sense of a longitudinal direction of the magnetic-measurement section in each magnetometric sensor, and compounding this etc. and measuring magnetic field strength and bearing.

[Claim 5] The magnetometric sensor according to claim 1, 2, or 3 characterized by the frequency of the high frequency current energized on the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire being 50kHz - 10MHz.

[Claim 6] The magnetic direction sensor according to claim 4 characterized by the frequency of the high frequency current energized on the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire being 50kHz - 10MHz.

[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to amelioration of the magnetometric sensor which can detect feeble fields, such as earth magnetism, can be applied to the magnetometric sensor and magnetic direction sensor for measuring feeble magnetic field strength, such as this, the sense, and a direction, and can aim at reduction like the controller in the circuit list in sensors, such as this, especially, and can aim at the improvement of temperature stability in a stability list of operation, and a magnetic direction sensor.

[0002] In addition, magnetic field strength means a direction [in / in the case of earth magnetism and / in the sense / a single dimension] by the following description. [total magnetic force]

[0003]

[Description of the Prior Art] It considers as the magnetic direction sensor which detects the former (tens of thousands nT(s), dozens A/m), for example, earth magnetism, with a sufficient precision, and the flux gate mold magnetometric sensor is most often used. The symmetrical B-H saturation characteristics of high permeability cores, such as a permalloy, perform field measurement using changing with external magnetic fields, and a flux gate mold magnetometric sensor has the **1-degree bearing accuracy of measurement. However, a large-scale core is needed for a theoretic reason, and the flux gate mold magnetometric sensor for earth magnetism detection cannot make the dimension of the whole sensor, and a configuration small. There are a hall device using the semi-conductor as magnetometric sensors other than a flux gate mold magnetometric sensor, a magnetic resistance element using a magnetic-substance (thing of ferromagnetic is only hereafter called the magnetic substance) thin film, etc. However, although the dimension and the configuration were small as for this etc., single figure precision was insufficient for detecting earth magnetism, and the sensibility to a field had the fault which cannot detect earth magnetism correctly.

[0004] this invention person etc. has already proposed the magnetic direction sensor etc. under such a technological background in the magnetometric sensor list which has precision small and sufficient to detect earth magnetism (refer to JP,7-248365,A).

[0005] That is, this magnetometric sensor was what the principal part of the magnetic-measurement section c consists of coils b which give a bias field to the amorphous magnetic-substance wire a which the high frequency current energizes, and this amorphous magnetic-substance wire a as shown in drawing 9, and arranges the magnetic-measurement section c of a pair in parallel mutually, and is constituted.

[0006] In addition, among drawing 9, in amplifier and g, a wave detector and h show a low-pass filter, and, as for an RF generator for d to energize the high frequency current on the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire a, and e, i shows [resistance and f] the differential amplifier, respectively.

[0007] And when the high frequency current is energized by RF generator d to the longitudinal direction of the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire a in this magnetometric sensor, while producing a wire both-ends electrical potential difference on the amorphous magnetic-substance wire a, it is the periphery field H₀ to the perimeter of the amorphous magnetic-substance wire a. It generates (refer to drawing 10). Since the amorphous magnetic-substance wire a is the magnetic substance at this time, it has self-inductance L which shows the self-induction nature which prevents current change. Here, if an external magnetic field H_{ex} is applied to the longitudinal

THIS PAGE BLANK (USPTO)

direction of the amorphous magnetic-substance wire a, only in the include angle ψ according to the strength of an external magnetic field H_{ex} ($0 \text{ degree} < \psi < 90 \text{ degrees}$), the magnetization vector M of the amorphous magnetic-substance wire a inclines (refer to drawing 10). Consequently, the effective magnetization component of a circumferential direction which works as an inductance is set to $M \cdot \cos\psi$ ($0 < \cos\psi < 1$), and self-inductance L will decrease. From change of this self-inductance L , the strength of the external magnetic field H_{ex} applied to the longitudinal direction of the amorphous magnetic-substance wire a can be detected, and change of self-inductance L is conversely called for from change of the wire both-ends electrical potential difference when energizing the high frequency current to the longitudinal direction of the amorphous magnetic-substance wire a.

[0008] Drawing 11 applies an external magnetic field H_{ex} (A/m) to the longitudinal direction of the amorphous magnetic-substance wire a, and shows the basic circuit for measuring the wire both-ends electrical potential difference (mVp-p) when energizing the high frequency current from RF generator d to the both ends of the amorphous magnetic-substance wire a. A presentation arranges the with a resistance [of 100 ohms] resistance e at a serial on the amorphous magnetic-substance wire a of 72.5(Fe6Co94) Si 12.5B15, and the graphical representation of drawing 12 has shown change of the wire both-ends electrical potential difference (mVp-p) to the external magnetic field H_{ex} (A/m) in case the frequency of the high frequency current is 300kHz.

[0009] In the external magnetic field $H_{ex} \approx 200$ (A/m) neighborhood, a wire both-ends electrical potential difference serves as maximum, and the graphical representation of drawing 12 has become bilateral symmetry bordering on external magnetic field $H_{SUB} = 0$. Although the condition of the curve of a graphical representation changes with frequencies of the quality of the material of the amorphous magnetic-substance wire a, a configuration, and the high frequency current to energize etc., also in any, it becomes the curve of the **** type of drawing 12, or a symmetry mold like the crest type (the frequency of the high frequency current which is energized on the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire unlike the case of drawing 12 is 70kHz) of drawing 13 by setting a symmetry axis as the axis of ordinate in a field 0 (A/m). the case where a wire both-ends electrical potential difference does not show the sense of an external magnetic field H_{ex} , and a wire both-ends electrical potential difference is 55 or more mVp-p in the state of the curve of the graphical representation of drawing 12 — the strength multiple valued of an external magnetic field H_{ex} — it cannot decide that it is **** and an external magnetic field H_{ex} cannot be detected. Moreover, the sense of an external magnetic field H_{ex} is undetectable from a wire both-ends electrical potential difference also in the state of the curve of the graphical representation of drawing 13.

[0010] Then, this magnetometric sensor that this invention person etc. developed makes a pair, and the two magnetic-measurement sections c arrange it in parallel mutually, and make it for the principal part of the magnetic-measurement section c to consist of coils b which give a bias field to the amorphous magnetic-substance wire a and this amorphous magnetic-substance wire a, as shown in drawing 9, and constitute it.

[0011] And the coil b which energizes the high frequency current to each of each amorphous magnetic-substance wire a, and makes a pair is made to generate the bias field with the opposite sense with equal strength, and he detects the difference of the wire both-ends electrical potential difference of each amorphous magnetic-substance wire a, and is trying to ask for the strength and sense of an external magnetic field H_{ex} of the magnetic-measurement section c. [of a longitudinal direction]

[0012] Namely, the curve of the range of -500 A/m, +500 A/m then +200 A/m - +500 A/m, and -200 A/m - -500 A/m is [in / drawing 12] available respectively in a bias field, and if the difference of the wire both-ends electrical potential difference of a pair is searched for, the strength and sense of an external magnetic field H_{ex} can be measured in the range of ≈ 300 A/m.

[0013] Drawing 14 is the block diagram of the magnetic direction test section of the magnetic direction sensor in the case of a 2 component sensor, and the x-y axis of coordinates is also indicated for operation explanation. In 2 sets (in the case of a 2 component sensor) of the magnetic-measurement section in the magnetometric sensor mentioned above, or 3 sets (in the case of a 3 component sensor), it arranges and the magnetic direction test section of this magnetic direction sensor is constituted so that it may intersect perpendicularly mutually. In the case of drawing 14, it arranges and the magnetic direction test section of a magnetic direction sensor is constituted so

THIS PAGE BLANK (USPTO)

that the magnetic-measurement section cx and the magnetic-measurement section cy of a magnetometric sensor may be mutually intersected perpendicularly. As for the angle (angle of deviation) theta of the bias from magnetic-field-strength F and the x axis currently illustrated, the output value of X and the magnetic-measurement section cy is shown for it by the following formula (1) and the formula (2), respectively, if the output value of the magnetic-measurement section cx is Y.

[0014]

$$F = (X^2 + Y^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} (Y/X) \quad (2)$$

Moreover, in the case of the 3 component sensor for earth magnetism, the z-axis is taken downward [vertical] to the x-y axis of coordinates of drawing 14 . Like the case of a 2 component sensor, if the output value of Y and the magnetic-measurement section cz is Z, as for the angle (angle of deviation) theta of the bias from a x axis, it is shown by the above-mentioned formula (2), and as for inclination (magnetic dip) chi of the magnetic field vector from total magnetic force F and a horizontal plane, the output value of the magnetic-measurement section cx is shown for the output value of X and the magnetic-measurement section cy by the following formula (3) and the formula (4), respectively.

[0015]

$$F = (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$\chi = \tan^{-1} [Z/(X^2+Y^2)^{1/2}] \quad (4)$$

And by measurement by the 2 component sensor, the angle of deviation theta from each magnetic-field-strength F and x axis, the angle of deviation theta from total magnetic force F and a x axis, and the magnetic dip chi of the magnetic field vector from a horizontal plane are computed by calculating a formula (2), a formula (3), and a formula (4) by measurement by the 3 [formula / a formula (1) and / (2)] component sensor for earth magnetism.

[0016] In addition, when aimed at earth magnetism, to the north sense, the y-axis is taken to a x axis and the east sense, the z-axis is taken downward [vertical], and the angle of deviation theta is measured from north to the circumference of the east, and just takes **** for **** to negative. Moreover, a magnetic dip chi takes negative for facing down forward and upward from a horizontal plane.

[0017]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, since sensor circuits, such as the above-mentioned magnetometric sensor which this invention person etc. developed, were mentioned above, as shown in drawing 9 , they have arranged two amorphous magnetic-substance wires a in parallel, and have taken the configuration which detects the electrical-potential-difference difference generated between each amorphous magnetic-substance wire a by impressing the bias field of hard flow to the amorphous magnetic-substance wires a, such as this, regularly, respectively.

[0018] Therefore, in order for the part and sensor circuit which need the two magnetic-measurement sections c by which the principal part is constituted from an amorphous magnetic-substance wire a and a coil b to become complicated, and to become disadvantageous in cost and to obtain an output from a differential output, when the magnetic sensibility of each magnetic-measurement section c was not in agreement, since the output became an error, it had the problem which requires the adjustment for the evasion.

[0019] Moreover, when the property over the temperature of each magnetic-measurement section c was not in agreement, it had the trouble which produces a big temperature drift.

[0020] Then, this invention person etc. continues research further and came to develop the magnetometric sensor and magnetic direction sensor which canceled the above-mentioned trouble at last.

[0021] Namely, the magnetometric sensor which this invention person etc. has proposed It is premised on the magnetometric sensor equipped with the magnetic-measurement section by which that principal part is constituted from a single amorphous magnetic-substance wire which the high frequency current energizes, and a coil which gives a bias field to this amorphous magnetic-substance wire. A detection means to detect the direct-current value which changes the value of the direct current passed in the above-mentioned coil, and generates the field of the reverse sense in the same magnitude as an external measurement field is established. The magnetic direction sensor

THIS PAGE BLANK (USPTO)

which was characterized by measuring the magnetic field strength and the sense of a longitudinal direction of the magnetic-measurement section from the detected direct-current value, and this invention person etc. has proposed was 2 sets or the thing which arranges and changes so that 3 sets may be mutually intersected perpendicularly of the above-mentioned magnetometric sensor. [0022] And magnetometric sensors, such as this, and a magnetic direction sensor were the things based on the following measurement principles. That is, acting as the monitor of the impedance of an amorphous magnetic-substance wire, a direct current is added to the coil arranged to the perimeter, and a field is generated. When a field with the same magnitude is added with a coil with an external magnetic field and the reverse sense so that the field generated from this coil may negate an external measurement field, In the amorphous magnetic-substance wire which the relation between a field and a wire both-ends electrical potential difference shows the property of the **** die-bending line of drawing 12 by setup of the quality of the material, a configuration, a frequency, etc., the impedance serves as the minimum. Moreover, in the amorphous magnetic-substance wire which the relation between a field and a wire both-ends electrical potential difference shows the property of the crest die-bending line of drawing 13, the impedance serves as the maximum. Since the field generated from the coil at this time is uniquely decided from a direct current, it can know the external sense and the magnitude of a measurement field by measuring the direct current which flows in a coil.

[0023] That is, the value of the direct current passed in a coil is changed, and an external magnetic field can be detected from the coil current from which the impedance of an amorphous magnetic-substance wire serves as the minimum or the maximum. In this case, since the magnitude of a field can be determined including a direction from the one magnetic-measurement section, it is not necessary to arrange the two magnetic-measurement sections like [in the case of taking a differential output]. Moreover, since only the property that the impedance serves as the minimum or the maximum is used when the circumference field of an amorphous magnetic-substance wire is 0, even if the variation to the field of an impedance changes, it also has the advantage which does not affect the detection result. For example, even if the property of an amorphous magnetic-substance wire changes with temperature and the variation of an impedance to the field changes, since the property of an amorphous magnetic-substance wire that an impedance serves as the minimum or the maximum by zero field does not change, it becomes possible [detecting an external magnetic field correctly] by measuring the value of the direct current which flows in a coil in case an impedance is the minimum or the maximum.

[0024] By the way, when the relation between a field and a wire both-ends electrical potential difference compares the amorphous magnetic-substance wire in which the property of the crest die-bending line of the amorphous magnetic-substance wire in which the property of the **** die-bending line of drawing 12 is shown by setup of the quality of the material, a configuration, a frequency, etc., and drawing 13 is shown, Since the measurement field will be restricted to the range of abbreviation-400 A/m - abbreviation +400 A/m in the amorphous magnetic-substance wire in which it faces applying the above-mentioned invention which this invention person etc. proposed, and the property of the **** die-bending line of drawing 12 is shown It is more advantageous to apply the amorphous magnetic-substance wire in which the property of the crest die-bending line of drawing 13 is shown, (since it sets out of range, this field with the value of an impedance lower than the impedance of zero field exists and an external magnetic field cannot be measured from the minimal value of an impedance).

[0025] The place which this invention is completed based on such technical knowledge, and is made into the technical problem It is premised on the above-mentioned magnetometric sensor and magnetic direction sensor which could aim at reduction like the controller in the circuit list, and were able to aim at the improvement of temperature stability in the stability list of operation. It is in offering the magnetometric sensor and magnetic direction sensor which specified the configuration of the above-mentioned detection means when the amorphous magnetic-substance wire in which the property of the crest die-bending line of drawing 13 is shown by setup of the quality of the material, a configuration, a frequency, etc. is applied.

[0026]

[Means for Solving the Problem] Namely, the magnetic-measurement section by which that principal part is constituted from a coil which gives a bias field to the single amorphous magnetic-substance

THIS PAGE BLANK (USPTO)

wire with which the high frequency current energizes invention concerning claim 1, and this amorphous magnetic-substance wire, It has a detection means to detect the direct-current value which changes the value of the direct current passed in the above-mentioned coil, and generates the field of the reverse sense in the same magnitude as an external measurement field. It is premised on the magnetometric sensor which measured the magnetic field strength and the sense of a longitudinal direction of the magnetic-measurement section from the direct-current value detected by this detection means. The direct-current coil which a direct current energizes in the alternating current coil list which sinusoidal current energizes [the above-mentioned detection means], The phase detector which detects by carrying out the phase comparison of the sine wave of the sinusoidal current energized in the sinusoidal signal and the above-mentioned alternating current coil of the RF impedance which acts as a monitor from the both-ends electrical potential difference of the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire, It is characterized by constituting that principal part from DC amplifier which amplifies the direct current energized in the above-mentioned direct-current coil so that the field of the reverse sense may be generated in the same magnitude as an external measurement field based on the phase detection output from this phase detector.

[0027] In addition, the configuration (claim 3) which may take the configuration (claim 2) which the above-mentioned alternating current coil and the direct-current coil which give a bias field to an amorphous magnetic-substance wire constitute from the member of another object, and sinusoidal current is energized in an alternating current coil, and makes a direct-current coil energize a direct current, respectively, and constitutes an alternating current coil and a direct-current coil from a single member, and is made to superimpose sinusoidal current and a direct current on this member, and energizes may take.

[0028] Moreover, invention concerning claim 4 relates to the magnetic direction sensor constituted combining the magnetometric sensor concerning claims 1 and 2 or 3 two or more.

[0029] Namely, invention concerning claim 4 is premised on the magnetic direction sensor which measures magnetic field strength and bearing. It has 2 sets or the magnetic direction test section constituted by arranging so that 3 sets might be mutually intersected perpendicularly of a magnetometric sensor according to claim 1, 2, or 3. It is characterized by having measured the magnetic field strength and the sense of a longitudinal direction of the magnetic-measurement section in each magnetometric sensor, and compounding this etc. and measuring magnetic field strength and bearing.

[0030] In addition, like wires, such as a magnetometric sensor indicated by JP,7-248365,A, after the amorphous magnetic-substance wire applied in this invention-fuses the alloy of a presentation of a CoSiB system, a FeCoSiB system, and others, it is liquid super-quenched and is made into the line with a circular cross section. Furthermore, in order to adjust magnetostriction constant λ s and a magnetic anisotropy, it is what gave tension annealing, and it has a magnetic anisotropy strong against the circumferential direction of an amorphous magnetic-substance wire. magnetostriction constant λ s speaking of — magnetostriction constant λ s If an absolute value becomes smaller than 10^{-6} , since the wire both-ends electrical potential difference mentioned later will become small and it will be hard coming to detect, it is desirable to use the thing of the range of $-10^{-6} < \lambda \leq 0$. Moreover, the range of detection sensitivity of 30 to 150 micrometers is large, the diameter of an amorphous magnetic-substance wire has it, and although die length is usable from about 1mm or more, 3mm or more is desirable from the ease of an output. [desirable]

[0031] Moreover, in order to take out change of an impedance efficiently, the frequency f of the high frequency current energized on an amorphous magnetic-substance wire has the range desirable although based also on the quality of the material of an amorphous magnetic-substance wire, and the structure of a magnetometric sensor of 50kHz - 10MHz (claim 5 and claim 6). It is because the sensibility to a field falls remarkably except this range.

[0032] Thus, according to the magnetometric sensor and magnetic direction sensor concerning this invention as which the configuration of the above-mentioned detection means was specified Compared with the conventional magnetometric sensor which needed two amorphous magnetic-substance wires, the number of an amorphous magnetic-substance wire can be reduced to one about a basic magnetometric sensor. Since the magnetic-measurement section can be made by this to constitute from a single amorphous magnetic-substance wire and a single coil, Since the analog signal processing network which could attain reduction of components mark and the miniaturization of a

THIS PAGE BLANK (USPTO)

sensor, and existed by two circuits is also set to one, balance adjustment becomes unnecessary, and reduction like the controller in the part and circuitry can be aimed at.

[0033] Moreover, although the property and circuit property of an amorphous magnetic-substance wire are changed with temperature, even if the number of the amorphous magnetic-substance wire of a basic magnetometric sensor becomes one as mentioned above, and the property of an amorphous magnetic-substance wire changes with temperature, the property that an impedance serves as the minimum or the maximum by zero field can aim at the improvement of stability of operation and temperature stability, without taking complicated circuitry from not changing.

[0034]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail with reference to a drawing.

[0035] Drawing 1 shows the circuit conceptual diagram of the field sensor concerning this invention. This field sensor The single amorphous magnetic-substance wire 1 which the high frequency current (sine wave) energizes from RF generator (high-frequency oscillator) 4, The detection means for detecting the direct-current value to the above-mentioned direct-current coil 22 which has the magnetic-measurement section 3 which the principal part consists of with the coil 2 which changes from the direct-current coil 22 to alternating current coil 21 list, and is made to generate the field of the reverse sense in the same magnitude as an external measurement field is established.

[0036] Namely, the direct-current coil 22 which a direct current energizes in the alternating current coil 21 list in which sinusoidal current energizes this detection means from a sine wave oscillator 10, The phase comparison of the sine wave of the sinusoidal current energized in the sinusoidal signal alpha and the above-mentioned alternating current coil 21 of the RF impedance which acts as a monitor through a wave detector 8 and a low-pass filter (LPF) 9 from the both-ends electrical potential difference of the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire 1 is carried out. The phase detectors 12, such as lock in amplifier which detects, That principal part consists of DC amplifier 13 which amplifies the direct current energized in the above-mentioned direct-current coil 22 so that the field of the reverse sense may be generated in the same magnitude as an external measurement field based on the phase detection output from this phase detector 12. In addition, the direct-current coil 22 serves as the configuration of a part of detection means and magnetic-measurement section in the above-mentioned alternating current coil 21 list.

[0037] And in this magnetometric sensor, if the high frequency current (sine wave) is energized from RF generator (high-frequency oscillator) 4 on the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire 1, and sinusoidal current is energized from a sine wave oscillator 10 in the above-mentioned alternating current coil 21 and it acts as the monitor of the RF impedance of the amorphous magnetic-substance wire 1 from a both-ends electrical potential difference, the sinusoidal signal alpha will be acquired.

[0038] Next, this sinusoidal signal alpha and the sinusoidal current energized in the alternating current coil 21 are inputted into a phase detector 12, and a phase-comparison necropsy wave is performed by the phase detector 12 of a parenthesis in the sine wave of the sinusoidal signal alpha and the above-mentioned sinusoidal current. It becomes possible to detect an external magnetic field including that polarity by this detection. Next, the direct current energized in the above-mentioned direct-current coil 22 so that this phase detection output may be set to 0 based on the phase detection output from this phase detector 12 is amplified in response to an operation of DC amplifier 13. That is, the negative feedback (negative feed back) which a coil current (direct-current value) for the RF impedance of the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire 1 to become the same as zero field generates is given, and it is made to converge until the above-mentioned phase detection output is set to 0 (that is, the RF impedance of the amorphous magnetic-substance wire 1 maximum).

[0039] And the sensor output (DC output) of the direct-current value at the time of converging a phase detection output on 0 (the RF impedance of the amorphous magnetic-substance wire 1 being the maximum) is carried out from above-mentioned DC amplifier 13. This DC output is a direct-current value at the time of the field of the reverse sense occurring from the above-mentioned direct-current coil 22 in the same magnitude as the measurement field of the sensor exterior, and becomes possible [asking for the external sense and the magnitude of a measurement field] from this DC output.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

[0040] And the point that the greatest advantage at the time of comparing with the conventional magnetometric sensor about this magnetometric sensor can make the magnetic-measurement section constitute from a single amorphous magnetic-substance wire and a single coil, and the property that an impedance serves as the maximum by zero field even if the property of an amorphous magnetic-substance wire changes with temperature are the points that the improvement of stability of operation and temperature stability can be aimed at, without taking complicated circuitry from not changing.

[0041] In addition, in this magnetometric sensor, the amorphous magnetic-substance wire which has the property of the crest die-bending line shown in drawing 2 is applied on the relation which adopted the method which detects the time of the sinusoidal signal alpha of a RF impedance being a peak (namely, maximal value), and measures an external magnetic field. Specifically, the presentation has applied 72.5(Fe6Co94) Si 12.5B15, magnetostriction constant $\lambda_{112} = -10^{-7}$, the diameter of 50 micrometers, and the amorphous magnetic-substance wire of 5mm of effective length. Moreover, the thing with a number of turns [300] and a coil diameter of 4mm was applied to the direct-current coil 22 made to generate the field of the reverse sense in the same magnitude as a measurement field.

[0042] Moreover, on the amorphous magnetic-substance wire 1, the high frequency current (70kHz and 8mA) (sine wave) is energized from RF generator (sine wave oscillator) 4, and sinusoidal current (100Hz and ≈ 50 mA) is energized from the sine wave oscillator 10 in the alternating current coil 21. In addition, the thing with a number of turns [300] and a coil diameter of 3mm was applied to the alternating current coil 21.

[0043] Drawing 3 shows the example of concrete circuitry of this magnetometric sensor.

[0044] That is, the detection means for detecting the direct-current value to the above-mentioned direct-current coil 22 which this magnetometric sensor has the magnetic-measurement section 3 by which that principal part is constituted from a single amorphous magnetic-substance wire 1 which the high frequency current (sine wave) energizes, and a coil 2 which changes from the direct-current coil 22 to alternating current coil 21 list, and is made to generate the field of the reverse sense in the same magnitude as a measurement field is established.

[0045] Namely, the direct-current coil 22 which a direct current energizes in the alternating current coil 21 list in which sinusoidal current energizes this detection means, The phase detector 12 which detects by carrying out the phase comparison of the sine wave of the sinusoidal current energized in the sinusoidal signal alpha and the above-mentioned alternating current coil 21 of the RF impedance which acts as a monitor through a wave detector 8 and a low-pass filter (LPF) 9 from the both-ends electrical potential difference of the amorphous magnetic-substance wire 1. That principal part consists of DC amplifier 13 which amplifies the direct current energized in the direct-current coil 22 so that this phase detection output may be set to 0 based on the phase detection output from this phase detector 12.

[0046] In addition, for four, as for amplifier and 6, an RF generator, and 5, 7 and 11 are [resistance and 10] sine wave oscillators among drawing 3.

[0047]

[Example] Hereafter, the example of this invention is explained with reference to a drawing.

[0048] It has arranged so that the magnetic-measurement section 3 of the magnetometric sensor of this invention shown by drawing 3 may intersect 2 sets perpendicularly mutually, and the magnetic direction sensor equipped with the magnetic direction test section 100 as shown in drawing 4 was manufactured. In addition, the electrode with which the amorphous magnetic-substance wire with which 1 and 2 constitute one magnetic-measurement section 3, the amorphous magnetic-substance wire with which 1' and 2' constitute magnetic-measurement section 3' of another side for a coil again, and a coil are shown among drawing 4, respectively, and 101 constitutes a substrate and 102 constitutes a part of one magnetic-measurement section is shown.

[0049] Moreover, in connection with the magnetic-measurement section having become 2 sets, the circuitry of the magnetometric sensor added as shown in drawing 5 is added. in addition, inside of drawing 5, and 6' — resistance and 7' — amplifier and 8' — as for a phase detector and 13', an alternating current coil and 22' show [a wave detector and 9'] the direct-current coil for a low-pass filter and 12', respectively, as for DC amplifier and 21'. Moreover, that to which the same sign as drawing 3 was given shows the same thing as it of drawing 3.

[0050] In addition, in this magnetic direction sensor, magnetostriction constant $\lambda_{112} = -10^{-7}$, the

THIS PAGE BLANK (USPTO)

diameter of 50 micrometers, and the thing of 5mm of effective length are applied for the presentation to the above-mentioned amorphous magnetic-substance wire 1 and 1' by 72.5(Fe₆Co₉₄) Si 12.5B15, respectively. Moreover, a thing with a number of turns [300] and a coil diameter of 3mm is applied to the above-mentioned coil 2, and the alternating current coil 21 which constitutes 2' and alternating current coil 21', and the thing with a number of turns [300] and a coil diameter of 4mm is applied to the direct-current coil 22 and direct-current coil 22'. Moreover, the sinusoidal current which energizes the high frequency current which energizes the resistance of resistance 6 and 6' to 100 ohms, each amorphous magnetic-substance wire 1, and 1' to 70kHz, 8mA, each alternating current coil 21, and 21' is 100Hz and **50mA.

[0051] And the magnetic direction was measured using this magnetic direction sensor. This result is shown in drawing 6 and drawing 7. That is, as a result of measuring Y output (V) of X (output V) magnetic-measurement section 3' of the magnetic-measurement section 3 in the range whose azimuth phi is 0 degree - 360 degrees by using as Azimuth phi the include angle measured from x-axis forward to the circumference of the y-axis forward direction, two sine curves whose phase contrast is 90 degrees were obtained to the azimuth phi as shown in drawing 6. Drawing 6 shows the azimuth dependency of Y output (V) of X (output V) magnetic-measurement section 3' of the magnetic-measurement section 3.

[0052] Moreover, at least all directions calculated the value of X output in angle phi, and Y output with the microcomputer, and calculated the value of tantheta and a bearing output from ratios, such as this. In addition, a bearing output is the numeric value of the arbitration unit showing the output value in the circuit obtained to Azimuth phi corresponding to 1 to 1.

[0053] Consequently, obtained drawing 7 shows the azimuth dependency of a bearing output. It turns out that a magnetic direction can be measured with the bearing accuracy of **1 degree like [the graphical representation of drawing 7 has good linearity, and] the magnetic direction sensor indicated by JP,7-248365,A.

[0054] Next, drawing 8 is the graphical representation having shown the relation of the temperature and the output in the magnetic direction sensor (example of a comparison) indicated by the magnetic direction sensor concerning an example, and JP,7-248365,A. That is, the temperature dependence of the sensor output in each sensor standardized with the value of 20 degrees C is shown.

[0055] And it is checked that the temperature stability of the magnetic direction sensor concerning an example is remarkably improved from this graphical representation.

[0056]

[Effect of the Invention] According to the magnetometric sensor and magnetic direction sensor concerning invention according to claim 1 to 6 Compared with the conventional magnetometric sensor which needed two amorphous magnetic-substance wires, the number of an amorphous magnetic-substance wire can be reduced to one about a basic magnetometric sensor. Since the magnetic-measurement section can be made by this to constitute from a single amorphous magnetic-substance wire and a single coil, Since the analog signal processing network which could attain reduction of components mark and the miniaturization of a sensor, and existed by two circuits is also set to one, balance adjustment becomes unnecessary, and it has the effectiveness that reduction like the controller in the part and circuitry can be aimed at.

[0057] Moreover, although the property and circuit property of an amorphous magnetic-substance wire are changed with temperature, even if the number of the amorphous magnetic-substance wire of a basic magnetometric sensor becomes one and the property of an amorphous magnetic-substance wire changes with temperature, the property that an impedance serves as the minimum or the maximum by zero field has the effectiveness that the improvement of stability of operation and temperature stability can be aimed at, without taking complicated circuitry from not changing.

[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] The circuit conceptual diagram of the magnetometric sensor concerning this invention.
- [Drawing 2] The graphical representation showing the relation between the bias field of the above-mentioned magnetometric sensor, and an amorphous magnetic-substance wire both-ends electrical potential difference.
- [Drawing 3] The block diagram showing the example of circuitry of the magnetometric sensor concerning this invention.
- [Drawing 4] The outline perspective view of the magnetic direction test section of the magnetic direction sensor concerning an example.
- [Drawing 5] The block diagram showing the example of circuitry of the magnetic direction sensor concerning an example.
- [Drawing 6] The graphical representation showing X of the magnetic-measurement section obtained in the example of the magnetic direction sensor concerning an example, and the azimuth dependency of Y output.
- [Drawing 7] The graphical representation showing the azimuth dependency of the bearing output obtained in the example of the magnetic direction sensor concerning an example.
- [Drawing 8] The graphical representation having shown the relation of the temperature of a magnetic direction sensor and the sensor output concerning an example and the example of a comparison.
- [Drawing 9] The block diagram showing the example of circuitry of the magnetometric sensor concerning the conventional example.
- [Drawing 10] The explanatory view for explaining the property at the time of energizing the high frequency current on an amorphous magnetic-substance wire.
- [Drawing 11] The block diagram showing the example of a configuration of the fundamental circuit for measuring the wire both-ends electrical potential difference when applying an external magnetic field to the longitudinal direction of an amorphous magnetic-substance wire in the magnetometric sensor concerning the conventional example, and energizing the high frequency current to both ends.
- [Drawing 12] The graphical representation having shown the relation of the external magnetic field and amorphous magnetic-substance wire both-ends electrical potential difference which were measured using the measuring circuit of drawing 11.
- [Drawing 13] The graphical representation having shown the relation of the external magnetic field and amorphous magnetic-substance wire both-ends electrical potential difference which were measured in case the frequency of the high frequency current energized to an amorphous magnetic-substance wire, using the measuring circuit of drawing 11 is 70kHz.
- [Drawing 14] The block diagram showing the example of circuitry of the magnetic direction sensor concerning the conventional example.

[Description of Notations]

- 1 Amorphous Magnetic-Substance Wire
- 2 Coil
- 3 Magnetic-Measurement Section
- 4 RF Generator (Sine Wave Oscillator)
- 8 Wave Detector
- 9 Low-pass Filter (LPF)
- 10 Sine Wave Oscillator

THIS PAGE BLANK (USPTO)

12 Phase Detector
13 DC Amplifier
21 Alternating Current Coil
22 Direct-Current Coil

[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

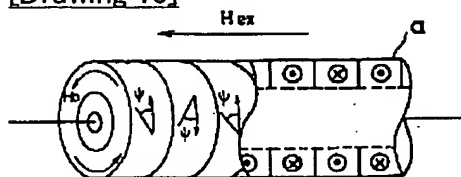
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

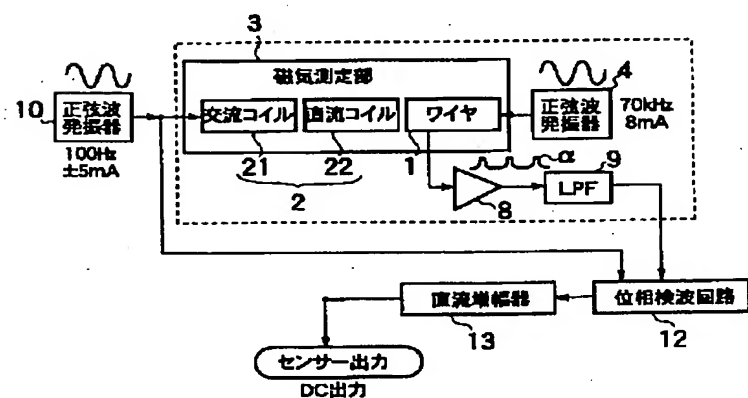
DRAWINGS

[Drawing 10]

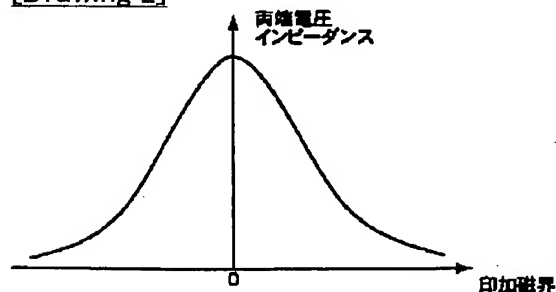


[Drawing 1]

- | | |
|------------------|------------|
| 1: アモルファス磁性体ワイヤ | 10: 正弦波発振器 |
| 2: コイル | 12: 位相検波回路 |
| 3: 磁気測定部 | 13: 直流増幅部 |
| 4: 高周波電源(正弦波発振器) | 21: 交流コイル |
| 8: 検波器 | 22: 直流コイル |
| 9: 低域フィルタ(LPF) | |

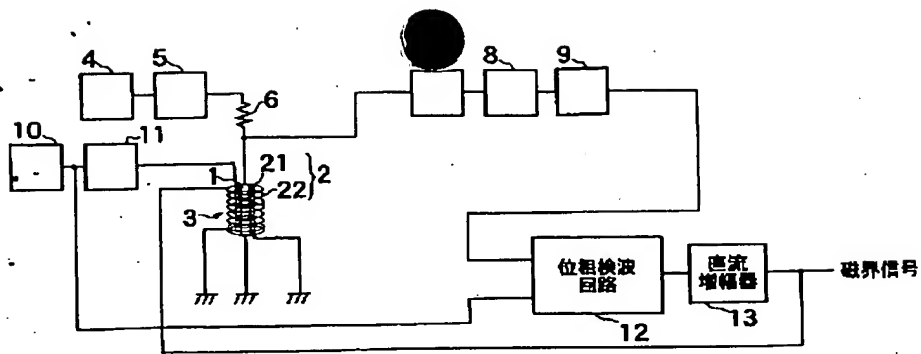


[Drawing 2]

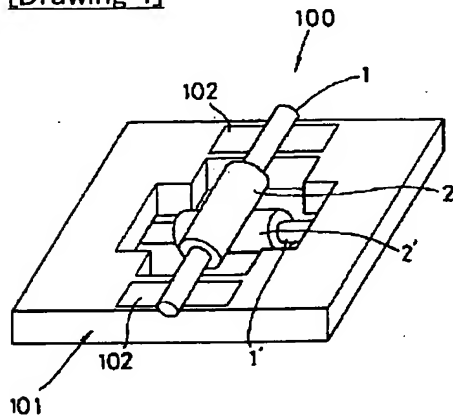


[Drawing 3]

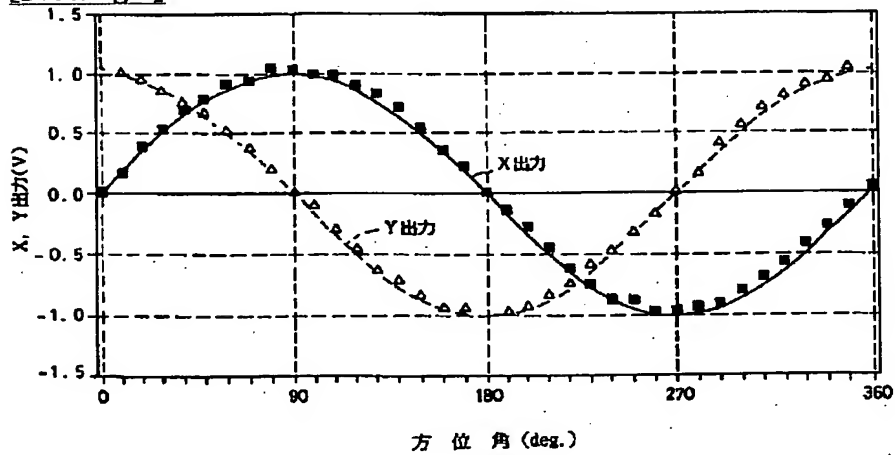
THIS PAGE BLANK (USPTO)



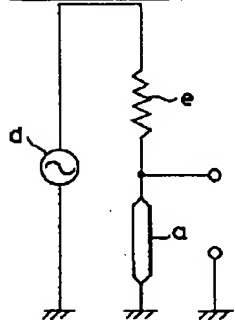
[Drawing 4]



[Drawing 6]

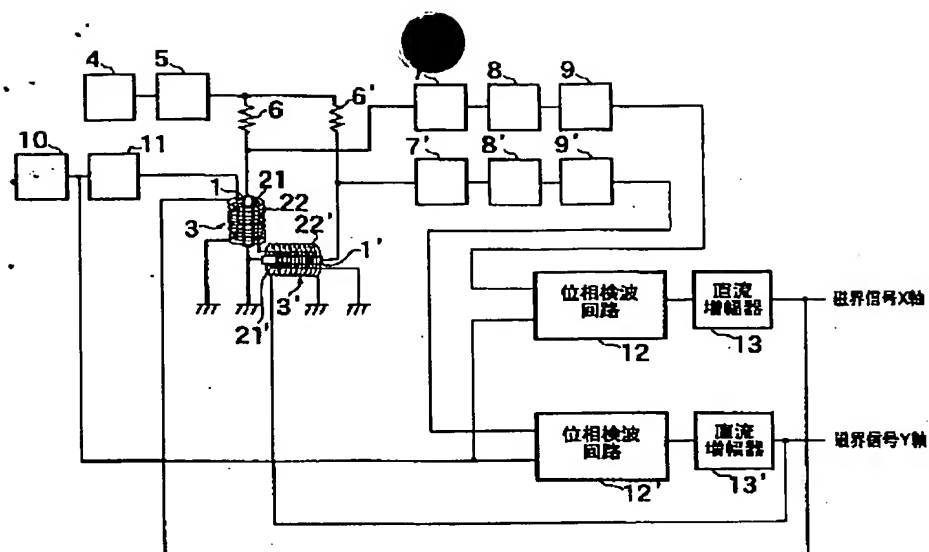


[Drawing 11]

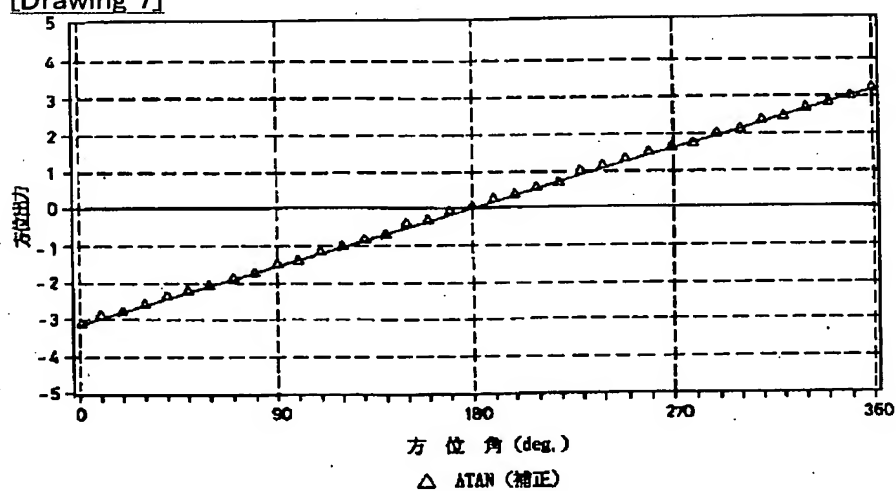


[Drawing 5]

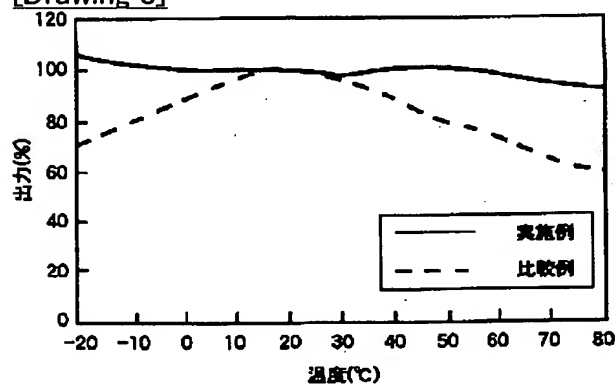
THIS PAGE BLANK (USPTO)



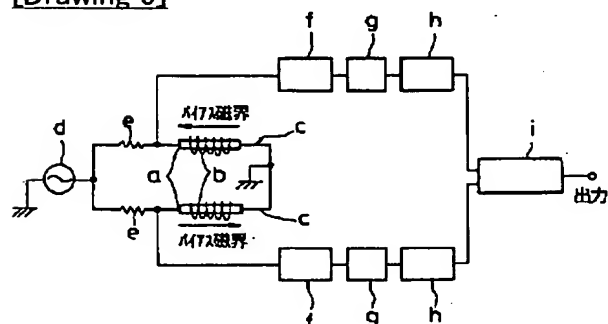
[Drawing 7]



[Drawing 8]

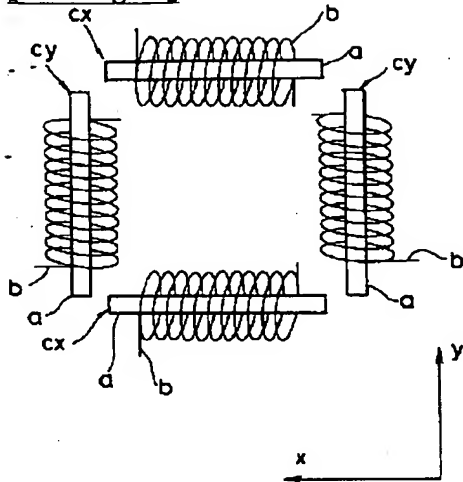


[Drawing 9]

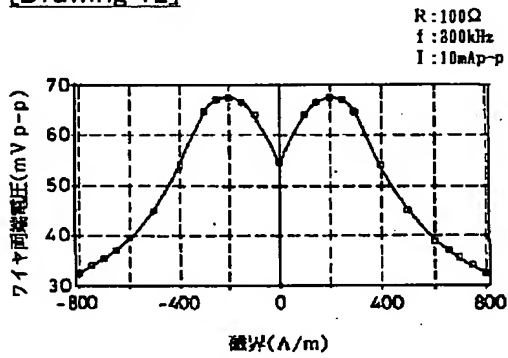


THIS PAGE BLANK (USPTO)

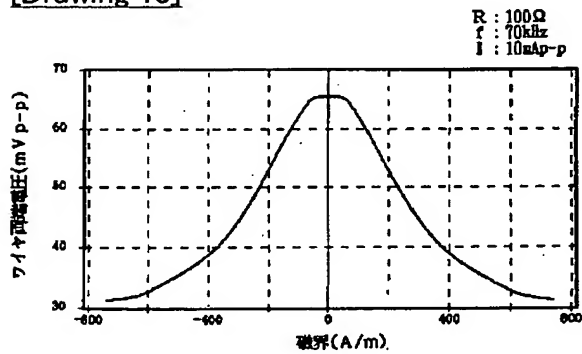
[Drawing 14]



[Drawing 12]



[Drawing 13]



[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-64473

(43)公開日 平成11年(1999) 3月5日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 R 33/02

G 0 1 R 33/02

D

G 0 1 C 17/28

G 0 1 C 17/28

L

Z

審査請求 未請求 請求項の数6 F D (全 10 頁)

(21)出願番号

特願平9-242075

(22)出願日

平成9年(1997) 8月22日

(71)出願人 000183303

住友金属鉱山株式会社

東京都港区新橋5丁目11番3号

(72)発明者 佐藤 崇志

千葉県市川市中国分3丁目18番5号 住友
金属鉱山株式会社中央研究所内

(72)発明者 山野邊 康徳

千葉県市川市中国分3丁目18番5号 住友
金属鉱山株式会社中央研究所内

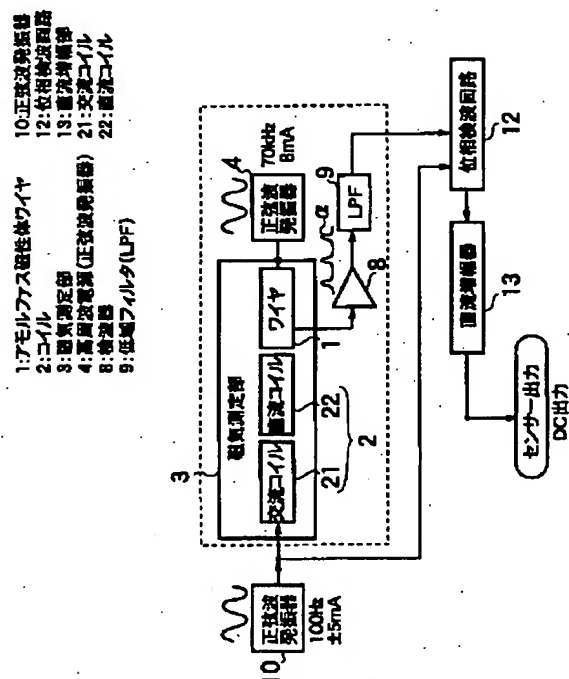
(74)代理人 弁理士 上田 章三

(54)【発明の名称】 磁気センサ及び磁気方位センサ

(57)【要約】

【課題】 回路及びその調整部位の低減、動作安定性と温度安定性の改善が図れる磁気センサと磁気方位センサを提供する。

【解決手段】 高周波電流が通電されるアモルファス磁性体ワイヤ1とバイアス磁界を与えるコイル2から成る磁気測定部3と、コイルに流す電流値を変化させて測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させる電流値を検出する検出手段を備える磁気センサで、上記検出手段が、正弦波を通電する交流コイル21及び直流を通電する直流コイル22と、上記ワイヤ1両端電圧からモニターされるインピーダンスの正弦波と交流コイルの正弦波を位相比較して検波を行う位相検波回路12と、位相検波出力が0となるよう直流コイルへの電流を増幅する直流増幅器13とで構成されることを特徴とし、磁気方位センサは二又は三組の磁気センサを直交して配置し構成した磁気方位測定部を備えることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】高周波電流が通電される単一のアモルファス磁性体ワイヤとこのアモルファス磁性体ワイヤにバイアス磁界を与えるコイルとでその主要部が構成される磁気測定部と、上記コイルに流す直流電流の値を変化させて外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させる直流電流値を検出する検出手段を備え、この検出手段により検出された直流電流値から磁気測定部の長手方向の磁界の強さと向きを測定するようにした磁気センサにおいて、

上記検出手段が、正弦波電流が通電される交流コイル並びに直流電流が通電される直流コイルと、上記アモルファス磁性体ワイヤの両端電圧からモニターされる高周波インピーダンスの正弦波信号と上記交流コイルに通電される正弦波電流の正弦波とを位相比較して検波を行う位相検波回路と、この位相検波回路からの位相検波出力をもとに外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させるように上記直流コイルに通電する直流電流を増幅する直流増幅器とでその主要部を構成することを特徴とする磁気センサ。

【請求項 2】上記交流コイルと直流コイルが別体の部材により構成されていることを特徴とする請求項 1 記載の磁気センサ。

【請求項 3】上記交流コイルと直流コイルが単一の部材により構成されていることを特徴とする請求項 1 記載の磁気センサ。

【請求項 4】請求項 1、2 又は 3 記載の磁気センサの二組又は三組を互いに直交するように配置して構成された磁気方位測定部を備え、各磁気センサにおける磁気測定部の長手方向の磁界の強さと向きを測定しかつこれ等を合成して磁界の強さ、方位を測定するようにしたことを特徴とする磁気方位センサ。

【請求項 5】上記アモルファス磁性体ワイヤに通電される高周波電流の周波数が $50\text{ kHz} \sim 10\text{ MHz}$ であることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載の磁気センサ。

【請求項 6】上記アモルファス磁性体ワイヤに通電される高周波電流の周波数が $50\text{ kHz} \sim 10\text{ MHz}$ であることを特徴とする請求項 4 記載の磁気方位センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、地磁気等の微弱磁界を検出し、これ等微弱磁界の強さ、向き、方向を測定するための磁気センサ及び磁気方位センサに係り、特に、これ等センサにおける回路並びにその調整部位の低減が図れ、かつ、動作安定性並びに温度安定性の改善が図れる磁気センサ及び磁気方位センサの改良に関するものである。

【0002】尚、以下の記述で磁界の強さは地磁気の場合は全磁力、向きは一次元における方向を意味する。

【0003】

【従来の技術】従来、例えば地磁気（数万 nT、数十 A/m）を精度よく検出する磁気方位センサとして、フラックスゲート型磁気センサが最もよく使われている。フラックスゲート型磁気センサは、パーマロイ等の高透磁率磁心の対称な B-H 飽和特性が、外部磁界により変化することを利用して磁界測定を行うもので、 $\pm 1^\circ$ の方位測定精度を有する。しかし、地磁気検出用フラックスゲート型磁気センサは、原理的な理由により大型の磁心が必要とし、センサ全体の寸法、形状を小さくすることが不可能である。フラックスゲート型磁気センサ以外の磁気センサとしては、半導体を用いたホール素子、磁性体（以下、強磁性体のことを単に磁性体と称する）薄膜を用いた磁気抵抗素子等がある。しかし、これ等は寸法・形状は小さいものの、磁界に対する感度は、地磁気を検出するには精度が一桁足りず、正確に地磁気を検出を行えない欠点があった。

【0004】このような技術的背景の下、本発明者等は、小型でかつ地磁気を検出するのに十分な精度を有する磁気センサ並びに磁気方位センサ等を既に提案している（特開平 7-248365 号公報参照）。

【0005】すなわち、この磁気センサは、図 9 に示すように高周波電流が通電されるアモルファス磁性体ワイヤ a と、このアモルファス磁性体ワイヤ a にバイアス磁界を与えるコイル b とで磁気測定部 c の主要部が構成され、かつ、一対の磁気測定部 c を互いに平行に配置して構成されるものであった。

【0006】尚、図 9 中、d は上記アモルファス磁性体ワイヤ a に高周波電流を通電するための高周波電源、e は抵抗、f は増幅器、g は検波器、h は低域フィルタ、i は差動増幅器をそれぞれ示している。

【0007】そして、この磁気センサにおいて、上記アモルファス磁性体ワイヤ a の長手方向に高周波電源 d により高周波電流を通電すると、アモルファス磁性体ワイヤ a にワイヤ両端電圧を生ずると共にアモルファス磁性体ワイヤ a の周囲に円周磁界 H_0 が発生する（図 10 参照）。このとき、アモルファス磁性体ワイヤ a は磁性体であるので、電流変化を阻止する自己誘導性を示す自己インダクタンス L を有する。ここで、アモルファス磁性体ワイヤ a の長手方向に外部磁界 H_{ex} をかけると、外部磁界 H_{ex} の強さに応じた角度 ϕ ($0^\circ < \phi < 90^\circ$) だけアモルファス磁性体ワイヤ a の磁化ベクトル M が傾斜する（図 10 参照）。この結果、インダクタンスとして働く円周方向の有効な磁化成分は、 $M \cdot \cos \phi$ ($0 < \cos \phi < 1$) となり、自己インダクタンス L は減少することになる。この自己インダクタンス L の変化から、アモルファス磁性体ワイヤ a の長手方向にかけられた外部磁界 H_{ex} の強さが検出でき、逆に自己インダクタンス L の変化は、アモルファス磁性体ワイヤ a の長手方向に高周波電流を通電したときのワイヤ両端電圧の変化から

求められる。

【0008】図11は、アモルファス磁性体ワイヤaの長手方向に外部磁界 H_{ex} (A/m)をかけ、高周波電源dからの高周波電流をアモルファス磁性体ワイヤaの両端に通電したときのワイヤ両端電圧(mV p-p)を測定するための基本回路を示したものである。組成が(F e₆ C o₉₄)_{72.5} S i_{12.5} B₁₅のアモルファス磁性体ワイヤaに、抵抗値100Ωの抵抗eを直列に配置し、高周波電流の周波数が300kHzの場合の、外部磁界 H_{ex} (A/m)に対するワイヤ両端電圧(mV p-p)の

変化を図12のグラフ図で示してある。
【0009】図12のグラフ図は、外部磁界 $H_{ex} \pm 200$ (A/m)付近において、ワイヤ両端電圧が最大値となり、外部磁界 $H_{ex} 0$ を境界に左右対称になっている。アモルファス磁性体ワイヤaの材質、形状、通電する高周波電流の周波数等によってグラフ図の曲線の状態は異なるが、いずれにおいても磁界0 (A/m)における縦座標軸を対称軸として、図12の双峰型や図13の山型(図12の場合と異なり上記アモルファス磁性体ワイヤに通電される高周波電流の周波数は70kHzである)のような対称型の曲線となる。図12のグラフ図の曲線状態では、ワイヤ両端電圧から外部磁界 H_{ex} の向きは分からず、また、ワイヤ両端電圧が55mV p-p以上の場合、外部磁界 H_{ex} の強さも多価となって決まらず、外部磁界 H_{ex} を検出することができない。また、図13のグラフ図の曲線状態でも、ワイヤ両端電圧から外部磁界 H_{ex} の向きを検出することができない。

【0010】そこで、本発明者等が開発したこの磁気センサは、図9に示したようにアモルファス磁性体ワイヤaと、このアモルファス磁性体ワイヤaにバイアス磁界を与えるコイルbとで磁気測定部cの主要部が構成され、かつ、二つの磁気測定部cが対をなして互いに平行に配置して構成せしめたものである。

【0011】そして、各アモルファス磁性体ワイヤaのそれぞれに高周波電流を通電し、また、対をなすコイルbに強さが等しく向きが正反対のバイアス磁界を発生させ、各アモルファス磁性体ワイヤaのワイヤ両端電圧の差を検出して磁気測定部cの長手方向の外部磁界 H_{ex} の強さと向きを求めるようにしている。

【0012】すなわち、図12において例えばバイアス磁界をそれぞれ-500A/m、+500A/mとすれば、+200A/m~+500A/m、及び、-200A/m~-500A/mの範囲の曲線が利用可能であり、一対のワイヤ両端電圧の差を求めれば、±300A/mの範囲で外部磁界 H_{ex} の強さと向きを測定することができる。

【0013】図14は、二成分センサの場合における磁気方位センサの磁気方位測定部の構成図であり、作用説明のためにx-y座標軸も記載してある。この磁気方位センサの磁気方位測定部は、上述した磁気センサにお

る磁気測定部の二組(二成分センサの場合)又は三組(三成分センサの場合)を、互いに直交するように配置して構成してある。図14の場合、磁気方位センサの磁気方位測定部は、磁気センサの磁気測定部cxと磁気測定部cyを互いに直交するように配置して構成されている。磁気測定部cxの出力値がX、磁気測定部cyの出力値がYであれば、磁界の強さF、図示してあるx軸からの偏りの角(偏角)θは、それぞれ下記の式(1)、式(2)で示される。

$$\begin{aligned} \text{【0014】} \\ F &= (X^2 + Y^2)^{1/2} & (1) \\ \theta &= \tan^{-1} (Y/X) & (2) \end{aligned}$$

また、地磁気を対象とする三成分センサの場合は、図14のx-y座標軸に対して鉛直下向きにz軸をとる。二成分センサの場合と同様に、磁気測定部cxの出力値がX、磁気測定部cyの出力値がY、磁気測定部czの出力値がZであれば、x軸からの偏りの角(偏角)θは、上記式(2)で示され、全磁力F、水平面からの磁場ベクトルの傾き(伏角)αは、下記の式(3)、式(4)でそれぞれ示される。

$$\begin{aligned} \text{【0015】} \\ F &= (X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2} & (3) \\ \alpha &= \tan^{-1} [Z / (X^2 + Y^2)^{1/2}] & (4) \end{aligned}$$

そして、二成分センサによる測定では式(1)、式(2)を、地磁気を対象とする三成分センサによる測定では式(2)、式(3)及び式(4)を計算して、それぞれの磁界の強さFとx軸からの偏角θ、全磁力Fとx軸からの偏角θ及び水平面からの磁場ベクトルの伏角αを算出する。

【0016】尚、地磁気を対象とする場合、北向きにx軸、東向きにy軸、鉛直下向きにz軸をとり、偏角θは北から東回りに測り、東偏を正に西偏を負にとる。また、伏角αは水平面から下向きを正、上向きを負をとる。

【0017】
【発明が解決しようとする課題】ところで、本発明者等が開発した上記磁気センサ等のセンサ回路は、上述した理由から、図9に示したように2本のアモルファス磁性体ワイヤaを平行に配置し、これ等アモルファス磁性体ワイヤaにそれぞれ逆方向のバイアス磁界を定常的に印加することによって各アモルファス磁性体ワイヤa間に発生する電圧差を検出する構成を採っている。

【0018】従って、アモルファス磁性体ワイヤaとコイルbとでその主要部が構成される磁気測定部cを2つ必要とする分、センサ回路が複雑となってコスト的に不利となり、かつ、差動出力から出力を得るため、各磁気測定部cの磁気感度が一致していない場合にその出力は誤差となってしまうことから、その回避のための調整を要する問題があった。

【0019】また、各磁気測定部cの温度に対する特性

が一致していない場合には、大きな温度ドリフトを生じてしまう問題点を有していた。

【0020】そこで、本発明者等は更に研究を継続し、ついに上記問題点を解消した磁気センサ及び磁気方位センサを開発するに至った。

【0021】すなわち、本発明者等が提案している磁気センサは、高周波電流が通電される単一のアモルファス磁性体ワイヤと、このアモルファス磁性体ワイヤにバイアス磁界を与えるコイルとでその主要部が構成される磁気測定部を備えた磁気センサを前提とし、上記コイルに流す直流電流の値を変化させて外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させる直流電流値を検出する検出手段を設け、検出した直流電流値から磁気測定部の長手方向の磁界の強さと向きを測定するようにしたことを特徴とし、また、本発明者等が提案している磁気方位センサは上記磁気センサの二組又は三組を互いに直交するように配置して成るものであった。

【0022】そして、これ等磁気センサ及び磁気方位センサは、以下のような測定原理に基づくものであった。すなわち、アモルファス磁性体ワイヤのインピーダンスをモニターしながらその周囲に配置されたコイルに直流電流を加えて磁界を発生させる。このコイルから発生する磁界が外部の測定磁界を打ち消すように、外部磁界と逆向きで大きさが同一の磁界がコイルにより加えられた時、磁界とワイヤー両端電圧との関係がその材質、形状、周波数等の設定により図12の双峰型曲線の特性を示すアモルファス磁性体ワイヤにおいてはそのインピーダンスは極小となり、また、磁界とワイヤー両端電圧との関係が図13の山型曲線の特性を示すアモルファス磁性体ワイヤにおいてはそのインピーダンスは極大となる。このときのコイルから発生される磁界は直流電流から一義的に決まることから、コイルに流れる直流電流を計測することにより外部の測定磁界の向きと大きさを知ることができる。

【0023】つまり、コイルに流す直流電流の値を変化させ、アモルファス磁性体ワイヤのインピーダンスが極小若しくは極大となるコイル電流から外部磁界が検出できる。この場合、1つの磁気測定部から方向を含め磁界の大きさが決定できるため、差動出力をとる場合のように磁気測定部を2つ配置する必要もない。また、アモルファス磁性体ワイヤのその周辺磁界が0のとき、そのインピーダンスが極小若しくは極大となる特性のみを利用しているため、インピーダンスの磁界に対する変化量が変化しても、その検出結果に影響を与えない利点も有している。例えば、温度によってアモルファス磁性体ワイヤの特性が変化し、その磁界に対するインピーダンスの変化量が変わっても、0磁界でインピーダンスが極小若しくは極大となるアモルファス磁性体ワイヤの特性は変わらないため、インピーダンスが極小若しくは極大のときのコイルに流れる直流電流の値を測定することによ

り、外部磁界を正確に検出することが可能となる。

【0024】ところで、磁界とワイヤー両端電圧との関係がその材質、形状、周波数等の設定により図12の双峰型曲線の特性を示すアモルファス磁性体ワイヤと図13の山型曲線の特性を示すアモルファス磁性体ワイヤとを比較した場合、本発明者等が提案した上記発明を適用するに際し図12の双峰型曲線の特性を示すアモルファス磁性体ワイヤにおいてはその測定領域が略 -400 A/m 〜略 $+400\text{ A/m}$ の範囲に限られてしまうため（この範囲外においては0磁界のインピーダンスよりインピーダンスの値が低い磁界が存在することから、インピーダンスの極小値より外部磁界を測定することができないため）、図13の山型曲線の特性を示すアモルファス磁性体ワイヤを適用した方が有利である。

【0025】本発明はこの様な技術的知見を基に完成されたものであり、その課題とするところは、回路並びにその調整部位の低減が図れ、かつ、動作安定性並びに温度安定性の改善が図れた上記磁気センサ及び磁気方位センサを前提とし、その材質、形状、周波数等の設定により図13の山型曲線の特性を示すアモルファス磁性体ワイヤが適用された場合の上記検出手段の構成を特定した磁気センサ及び磁気方位センサを提供することにある。

【0026】

【課題を解決するための手段】すなわち、請求項1に係る発明は、高周波電流が通電される単一のアモルファス磁性体ワイヤとこのアモルファス磁性体ワイヤにバイアス磁界を与えるコイルとでその主要部が構成される磁気測定部と、上記コイルに流す直流電流の値を変化させて外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させる直流電流値を検出する検出手段を備え、この検出手段により検出された直流電流値から磁気測定部の長手方向の磁界の強さと向きを測定するようにした磁気センサを前提とし、上記検出手段が、正弦波電流が通電される交流コイル並びに直流電流が通電される直流コイルと、上記アモルファス磁性体ワイヤの両端電圧からモニターされる高周波インピーダンスの正弦波信号と上記交流コイルに通電される正弦波電流の正弦波とを位相比較して検波を行う位相検波回路と、この位相検波回路からの位相検波出力をもとに外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させるように上記直流コイルに通電する直流電流を増幅する直流増幅器とでその主要部を構成することを特徴とするものである。

【0027】尚、アモルファス磁性体ワイヤにバイアス磁界を与える上記交流コイルと直流コイルについては別体の部材で構成し、かつ、交流コイルに正弦波電流を直流コイルに直流電流をそれぞれ通電させる構成（請求項2）を採ってもよいし、交流コイルと直流コイルを単一の部材で構成し、かつ、この部材に正弦波電流と直流電流を重畳させて通電する構成（請求項3）を採ってもよい。

【0028】また、請求項4に係る発明は、請求項1、2又は3に係る磁気センサを複数組み合わせる構成される磁気方位センサに関する。

【0029】すなわち、請求項4に係る発明は、磁界の強さと方位を測定する磁気方位センサを前提とし、請求項1、2又は3記載の磁気センサの二組又は三組を互いに直交するように配置して構成された磁気方位測定部を備え、各磁気センサにおける磁気測定部の長手方向の磁界の強さと向きを測定しかつこれ等を合成して磁界の強さ、方位を測定するようにしたことを特徴とするものである。

【0030】尚、本発明において適用されるアモルファス磁性体ワイヤは、特開平7-248365号公報に記載された磁気センサ等のワイヤと同様、CoSiB系、FeCoSiB系、その他の組成の合金を溶融した後、液体超急冷して断面が円形の線状としてある。更に、磁歪定数 λ_s 、磁気異方性を調整するために張力アニールを施したもので、アモルファス磁性体ワイヤの円周方向に強い磁気異方性を有する。磁歪定数 λ_s についていえば、磁歪定数 λ_s の絶対値が 10^{-6} より小さくなると、後述するワイヤ両端電圧が小さくなり検出し難くなるので、 $-10^{-6} < \lambda_s \leq 0$ の範囲のものを使用することが望ましい。また、アモルファス磁性体ワイヤの直径は、 $30\mu\text{m}$ から $150\mu\text{m}$ の範囲が検出感度が大きくて好ましく、長さは1mm程度以上から使用可能であるが、出力の容易さから3mm以上が望ましい。

【0031】また、アモルファス磁性体ワイヤの材質、磁気センサの構造にもよるが、インピーダンスの変化を効率的に取り出すためにアモルファス磁性体ワイヤに通電する高周波電流の周波数 f は、 $50\text{kHz} \sim 10\text{MHz}$ の範囲が望ましい（請求項5及び請求項6）。この範囲以外では磁界に対する感度が著しく低下するからである。

【0032】この様に上記検出手段の構成が特定された本発明に係る磁気センサ及び磁気方位センサによれば、基本となる磁気センサについて2本のアモルファス磁性体ワイヤを必要とした従来の磁気センサに較べてアモルファス磁性体ワイヤの本数を1本に低減でき、これにより磁気測定部を単一のアモルファス磁性体ワイヤと単一のコイルにて構成させることができるため、部品点数の低減とセンサの小型化が図れ、かつ、2回路分あったアナログ信号処理系統も一つになるためバランス調整が不要となり、その分、回路構成における調整部位の低減が図れる。

【0033】また、アモルファス磁性体ワイヤの特性や回路特性は温度によって変動するが、上述したように基本となる磁気センサのアモルファス磁性体ワイヤの本数が1本となり、かつ、アモルファス磁性体ワイヤの特性が温度によって変化したとしても0磁界でインピーダンスが極小若しくは極大となる特性は変わらないことか

ら、複雑な回路構成を採ることなく動作安定性と温度安定性の改善が図れる。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0035】図1は本発明に係る磁界センサの回路概念図を示しており、この磁界センサは、高周波電源（高周波発振器）4から高周波電流（正弦波）が通電される単一のアモルファス磁性体ワイヤ1と、交流コイル21並びに直流コイル22から成るコイル2とでその主要部が構成される磁気測定部3を有しており、かつ、外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させる上記直流コイル22への直流電流値を検出するための検出手段が設けられている。

【0036】すなわち、この検出手段は、正弦波発振器10から正弦波電流が通電される交流コイル21並びに直流電流が通電される直流コイル22と、上記アモルファス磁性体ワイヤ1の両端電圧から検波器8、低域フィルタ（LPF）9を介しモニターされる高周波インピーダンスの正弦波信号 α と上記交流コイル21に通電される正弦波電流の正弦波とを位相比較して検波を行うロックインアンプ等の位相検波回路12と、この位相検波回路12からの位相検波出力をもとに外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させるように上記直流コイル22に通電する直流電流を増幅する直流増幅器13とでその主要部が構成されている。尚、上記交流コイル21並びに直流コイル22は検出手段と磁気測定部の一部の構成を兼ねている。

【0037】そして、この磁気センサにおいては、上記アモルファス磁性体ワイヤ1に高周波電源（高周波発振器）4から高周波電流（正弦波）を通電し、かつ、上記交流コイル21に正弦波発振器10から正弦波電流を通電し、アモルファス磁性体ワイヤ1の高周波インピーダンスを両端電圧からモニターすると正弦波信号 α が得られる。

【0038】次に、この正弦波信号 α と交流コイル21に通電される正弦波電流が位相検波回路12に入力されかつこの位相検波回路12により正弦波信号 α と上記正弦波電流の正弦波を位相比較し検波が行われる。この検波により外部磁界をその極性を含め検出することが可能となる。次に、この位相検波回路12からの位相検波出力をもとにこの位相検波出力が0となるように上記直流コイル22に通電される直流電流が直流増幅器13の作用を受けて増幅される。すなわち、上記アモルファス磁性体ワイヤ1の高周波インピーダンスが0磁界と同じになるためのコイル電流（直流電流値）が発生する負帰還（ネガティブフィードバック）を与え、上記位相検波出力が0（すなわちアモルファス磁性体ワイヤ1の高周波インピーダンスが極大）になるまで収束させる。

【0039】そして、位相検波出力が0（アモルファス

磁性体ワイヤ 1 の高周波インピーダンスが極大) に収束された時点の直流電流値が上記直流増幅器 13 からセンサー出力 (DC 出力) される。この DC 出力は、センサ外部の測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界が上記直流コイル 22 から発生した時点の直流電流値であり、この DC 出力から外部の測定磁界の向きと大きさを求めることが可能となる。

【0040】そして、この磁気センサについて従来の磁気センサと較べた場合の最大の利点は、磁気測定部を単一のアモルファス磁性体ワイヤと単一のコイルにて構成させることができる点と、アモルファス磁性体ワイヤの特性が温度によって変化したとしても 0 磁界でインピーダンスが極大となる特性は変わらないことから複雑な回路構成を採ることなく動作安定性と温度安定性の改善が図れる点である。

【0041】尚、この磁気センサにおいては、高周波インピーダンスの正弦波信号 α がピーク (すなわち極大値) の時点を検出して外部磁界を測定する方式を採用した関係上、図 2 に示す山型曲線の特性を有するアモルファス磁性体ワイヤが適用されている。具体的には、その組成が (Fe₆Co₉₄)_{72.5} Si_{12.5} B₁₅、磁歪定数 $\lambda_s = -1.0^{-7}$ 、直径 50 μ m、有効長さ 5 mm のアモルファス磁性体ワイヤを適用している。また、測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させる直流コイル 22 には、巻き数 300、コイル直径 4 mm のものを適用した。

【0042】また、アモルファス磁性体ワイヤ 1 には、高周波電源 (正弦波発振器) 4 から 70 kHz、8 mA の高周波電流 (正弦波) を通電し、交流コイル 21 には、正弦波発振器 10 から 100 Hz、 ± 50 mA の正弦波電流を通電している。尚、交流コイル 21 には、巻き数 300、コイル直径 3 mm のものを適用した。

【0043】図 3 は、この磁気センサの具体的回路構成例を示している。

【0044】すなわち、この磁気センサは、高周波電流 (正弦波) が通電される単一のアモルファス磁性体ワイヤ 1 と、交流コイル 21 並びに直流コイル 22 から成るコイル 2 とでその主要部が構成される磁気測定部 3 を有し、かつ、測定磁界と同じ大きさで逆向きの磁界を発生させる上記直流コイル 22 への直流電流値を検出するための検出手段が設けられている。

【0045】すなわち、この検出手段は、正弦波電流が通電される交流コイル 21 並びに直流電流が通電される直流コイル 22 と、アモルファス磁性体ワイヤ 1 の両端電圧から検波器 8、低域フィルタ (LPF) 9 を介しモニターされる高周波インピーダンスの正弦波信号 α と上記交流コイル 21 に通電される正弦波電流の正弦波とを位相比較して検波を行う位相検波回路 12 と、この位相検波回路 12 からの位相検波出力をもとにこの位相検波出力が 0 となるように直流コイル 22 に通電する直流電

流を増幅する直流増幅器 13 とでその主要部が構成されている。

【0046】尚、図 3 中、4 は高周波電源、5、7、11 は増幅器、6 は抵抗、10 は正弦波発振器である。

【0047】

【実施例】以下、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0048】図 3 で示した本発明の磁気センサの磁気測定部 3 の二組を互いに直交するように配置して、図 4 に示すような磁気方位測定部 100 を備えた磁気方位センサを製造した。尚、図 4 中、1 と 2 は一方の磁気測定部 3 を構成するアモルファス磁性体ワイヤとコイルを、また、1' と 2' は他方の磁気測定部 3' を構成するアモルファス磁性体ワイヤとコイルをそれぞれ示し、また、101 は基板、102 は一方の磁気測定部の一部を構成する電極を示している。

【0049】また、磁気測定部が二組になったことに伴い、図 5 に示すように追加された磁気センサの回路構成が付加されている。尚、図 5 中、6' は抵抗、7' は増幅器、8' は検波器、9' は低域フィルタ、12' は位相検波回路、13' は直流増幅器、21' は交流コイル、22' は直流コイルをそれぞれ示している。また、図 3 と同一符号が付されたものは図 3 のそれと同一のものを示している。

【0050】尚、この磁気方位センサにおいて上記アモルファス磁性体ワイヤ 1、1' には、組成が (Fe₆Co₉₄)_{72.5} Si_{12.5} B₁₅ で、磁歪定数 $\lambda_s = -1.0^{-7}$ 、直径 50 μ m、有効長さ 5 mm のものがそれぞれ適用されている。また、上記コイル 2、2' を構成する交流コイル 21 と交流コイル 21' には巻き数 300、コイル直径 3 mm のものが適用され、直流コイル 22 と直流コイル 22' には巻き数 300、コイル直径 4 mm のものが適用されている。また、抵抗 6、6' の抵抗値は 100 Ω 、各アモルファス磁性体ワイヤ 1、1' に通電する高周波電流は 70 kHz、8 mA、各交流コイル 21、21' に通電する正弦波電流は 100 Hz、 ± 50 mA である。

【0051】そして、この磁気方位センサを用いて磁気方位を測定した。この結果を図 6 及び図 7 に示す。すなわち x 軸正方向から y 軸正方向回りに測った角度を方位角 ϕ として、方位角 ϕ が $0^\circ \sim 360^\circ$ の範囲における磁気測定部 3 の X 出力 (V)、磁気測定部 3' の Y 出力 (V) を測定した結果、図 6 に示すような方位角 ϕ に対して位相差が 90° の二つの正弦曲線が得られた。図 6 は磁気測定部 3 の X 出力 (V)、磁気測定部 3' の Y 出力 (V) の方位角依存性を示している。

【0052】また、各方位角 ϕ における X 出力、Y 出力の値をマイクロコンピュータで演算して、これ等の比より $\tan \theta$ 及び方位出力の値を求めた。尚、方位出力は、方位角 ϕ に対して 1 対 1 に対応して得られる回路中

の出力値を表している任意単位の数値である。

【0053】この結果、得られた図7は方位出力の方位角依存性を示している。図7のグラフ図は直線性がよく、特開平7-248365号公報に記載された磁気方位センサと同様、方位精度 $\pm 1^\circ$ で磁気方位が測定できることが分かる。

【0054】次に、図8は、実施例に係る磁気方位センサと特開平7-248365号公報に記載された磁気方位センサ（比較例）における温度と出力との関係を示したグラフ図である。すなわち、 20°C の値で規格化した各センサにおけるセンサ出力の温度依存性を示したものである。

【0055】そして、このグラフ図から、実施例に係る磁気方位センサの温度安定性が著しく改善されていることが確認される。

【0056】

【発明の効果】請求項1～6記載の発明に係る磁気センサ及び磁気方位センサによれば、基本となる磁気センサについて2本のアモルファス磁性体ワイヤを必要とした従来の磁気センサに較べてアモルファス磁性体ワイヤの本数を1本に低減でき、これにより磁気測定部を単一のアモルファス磁性体ワイヤと単一のコイルにて構成させることができるため、部品点数の低減とセンサの小型化が図れ、かつ、2回路分あったアナログ信号処理システム一つになるためバランス調整が不要となり、その分、回路構成における調整部位の低減が図れる効果を有する。

【0057】また、アモルファス磁性体ワイヤの特性や回路特性は温度によって変動するが、基本となる磁気センサのアモルファス磁性体ワイヤの本数が1本となり、かつ、アモルファス磁性体ワイヤの特性が温度によって変化したとしても0磁界でインピーダンスが極小若しくは極大となる特性は変わらないことから、複雑な回路構成を採ることなく動作安定性と温度安定性の改善が図れる効果を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る磁気センサの回路概念図。

【図2】上記磁気センサのバイアス磁界とアモルファス磁性体ワイヤ両端電圧との関係を示すグラフ図。

【図3】本発明に係る磁気センサの回路構成例を示すブロック図。

【図4】実施例に係る磁気方位センサの磁気方位測定部の概略斜視図。

【図5】実施例に係る磁気方位センサの回路構成例を示すブロック図。

【図6】実施例に係る磁気方位センサの実施例で得られた磁気測定部のX、Y出力の方位角依存性を示すグラフ図。

【図7】実施例に係る磁気方位センサの実施例で得られた方位出力の方位角依存性を示すグラフ図。

【図8】実施例と比較例に係る磁気方位センサの温度とセンサ出力との関係を示したグラフ図。

【図9】従来例に係る磁気センサの回路構成例を示すブロック図。

【図10】アモルファス磁性体ワイヤに高周波電流を通電した際の特性を説明するための説明図。

【図11】従来例に係る磁気センサにおいてアモルファス磁性体ワイヤの長手方向に外部磁界をかけ両端に高周波電流を通電したときのワイヤ両端電圧を測定するための基本的回路の構成例を示すブロック図。

【図12】図11の測定回路を用いて測定した外部磁界とアモルファス磁性体ワイヤ両端電圧との関係を示したグラフ図。

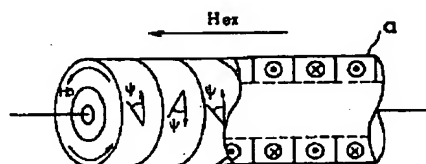
【図13】図11の測定回路を用いかつアモルファス磁性体ワイヤへ通電する高周波電流の周波数が 70kHz の場合における測定した外部磁界とアモルファス磁性体ワイヤ両端電圧との関係を示したグラフ図。

【図14】従来例に係る磁気方位センサの回路構成例を示すブロック図。

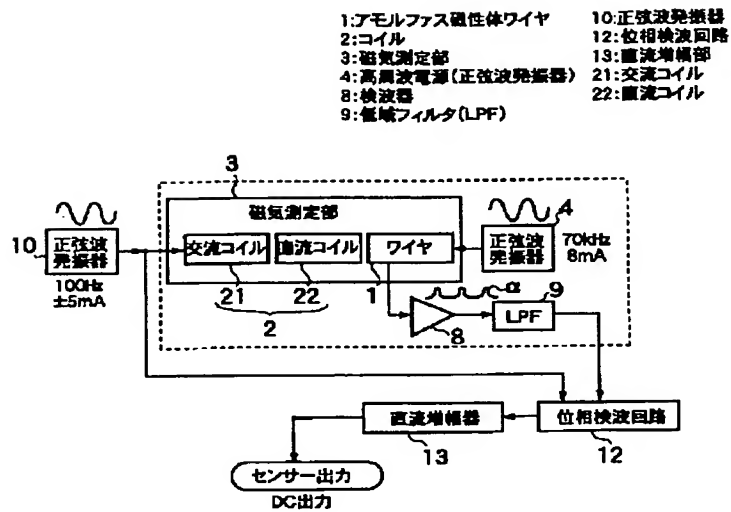
【符号の説明】

- | | |
|----|---------------|
| 1 | アモルファス磁性体ワイヤ |
| 2 | コイル |
| 3 | 磁気測定部 |
| 4 | 高周波電源（正弦波発振器） |
| 8 | 検波器 |
| 9 | 低域フィルタ（LPF） |
| 10 | 正弦波発振器 |
| 12 | 位相検波回路 |
| 13 | 直流増幅器 |
| 21 | 交流コイル |
| 22 | 直流コイル |

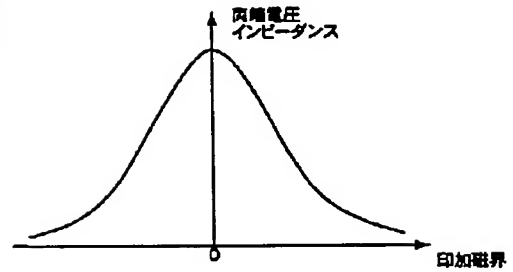
【図10】



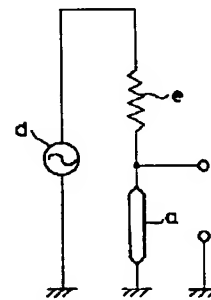
【図 1】



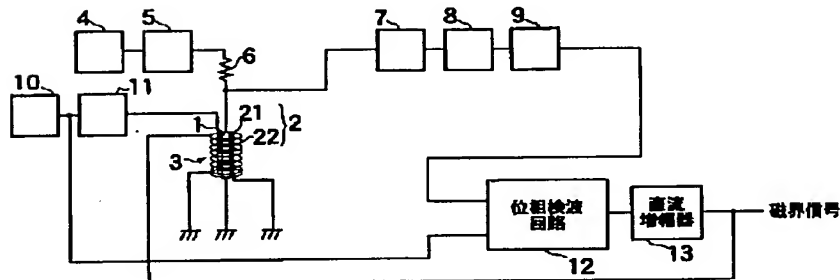
【図 2】



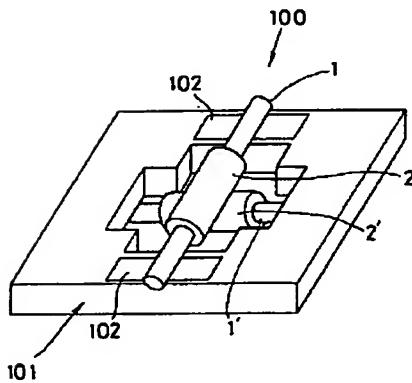
【図 11】



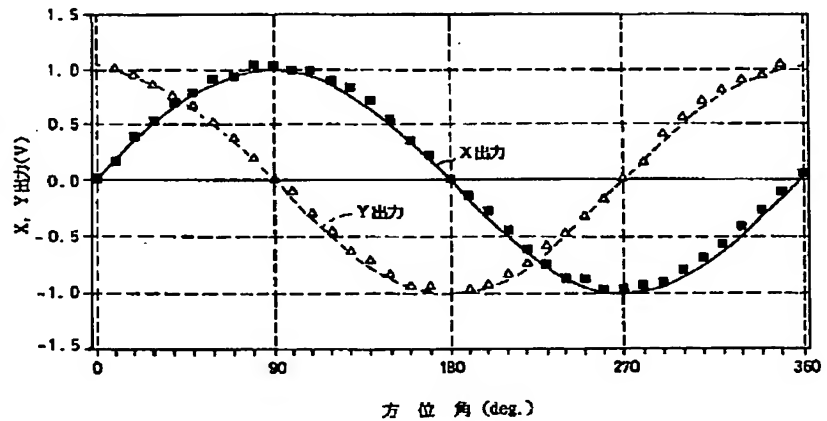
【図 3】



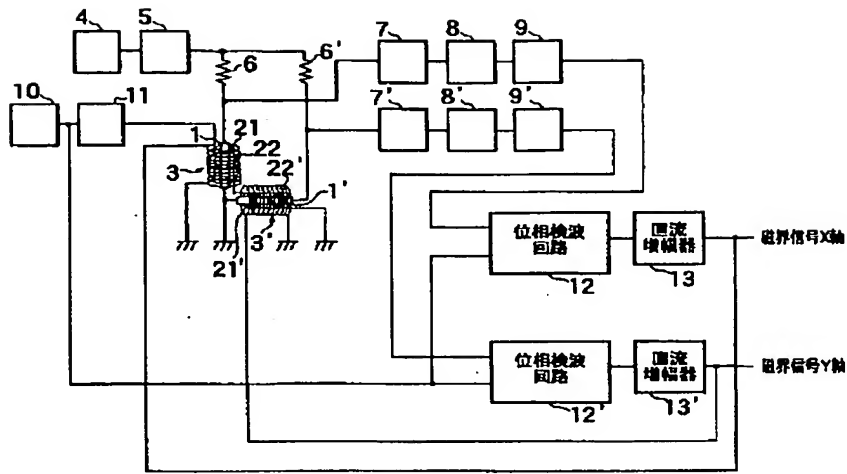
【図 4】



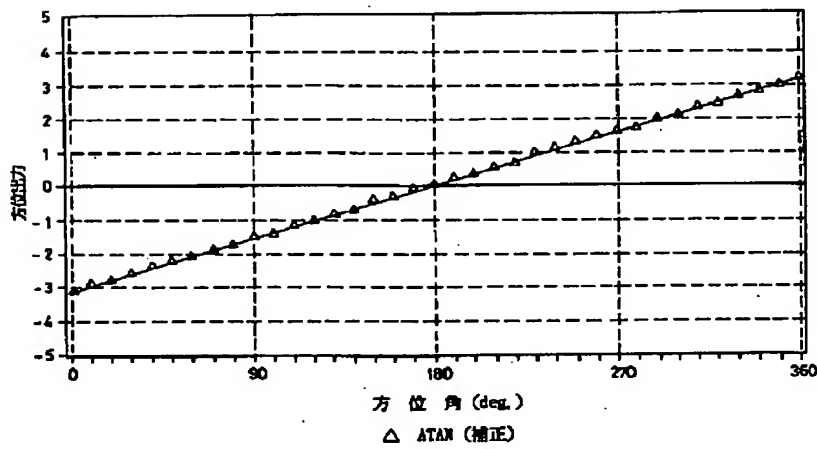
【図 6】



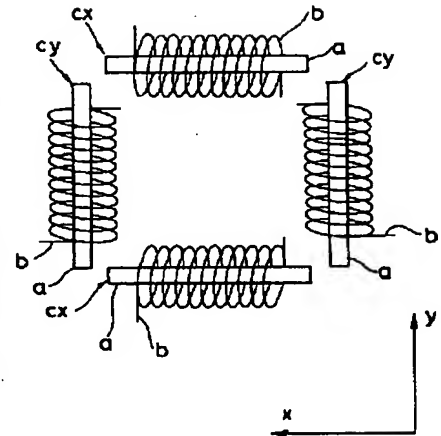
【图 5】



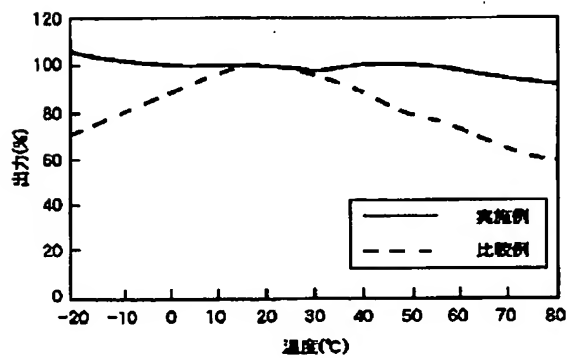
【图 7】



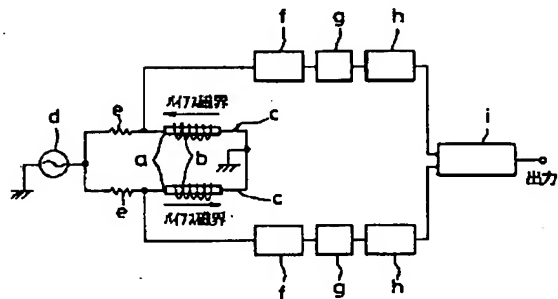
【图 14】



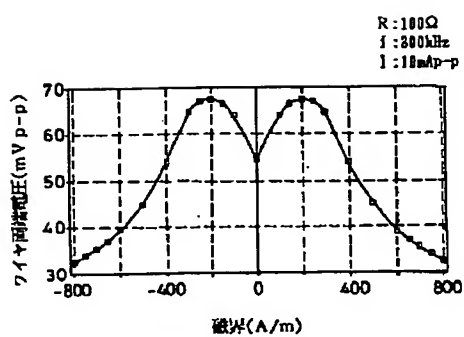
【图 8】



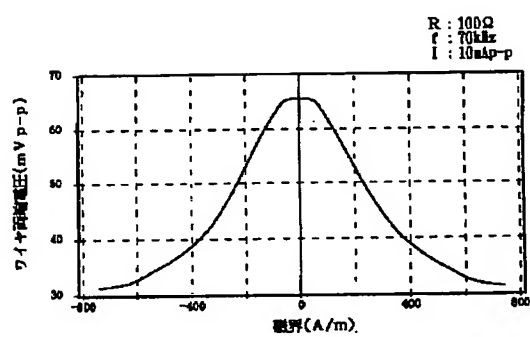
【图 9】



【図 1 2】



【図 1 3】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)